

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
7. September 2001 (07.09.2001)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 01/64330 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **B01J 13/02**,
13/22

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP01/02397

(22) Internationales Anmeldedatum:
2. März 2001 (02.03.2001)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
100 10 264.6 2. März 2000 (02.03.2000) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme
von US): **NOVOSOM GMBH** [DE/DE]; Weinbergweg
22, 06120 Halle (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **PANZNER, Steffen**
[DE/DE]; Blumenstr. 9, 06108 Halle (DE). **ENDERT,**
Gerold [DE/DE]; Seebener Str. 20, 06114 Halle (DE).
ESSLER, Frank [DE/DE]; August-Bebel-Str. 41, 06108
Halle (DE). **BEHRENS, Anja** [DE/DE]; Schkeuditzer

Str. 37, 04155 Leipzig (DE). **LUTZ, Silke** [DE/DE];
Schleiermacherstr. 34, 06144 Halle (DE). **PANZNER,**
Cornelia [DE/DE]; Blumenstr. 9, 06108 Halle (DE).

(74) Anwälte: **ZIEBIG, Marlene, K.** usw.; Patentanwälte
Gulde Hengelhaupt Ziebig, Schützenstrasse 15 - 17, 10117
Berlin (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT,
AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CR, CU,
CZ, DE, DK, DM, DZ, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,
HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK,
LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX,
MZ, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL,
TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (regional): ARIPO-Patent (GH,
GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW),
eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ,
TM), europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK,
ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR),
OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML,
MR, NE, SN, TD, TG).

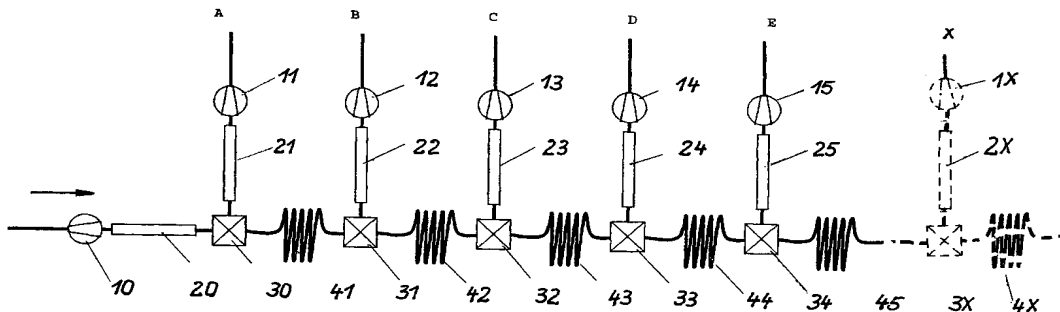
Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: NANOCAPSULES HAVING A POLYELECTROLYTE ENVELOPE

(54) Bezeichnung: NANOKAPSELN MIT EINER POLYELEKTROLYTHÜLLE



(57) Abstract: The invention relates to a method for producing nanocapsules or microcapsules with a diameter of 20 nm to 40 μ m. According to the inventive method, template particles are provided in an aqueous medium, electrically recharged with a polyelectrolyte, recharged again with a second polyelectrolyte that is complementary to the first polyelectrolyte without intermediate separating or washing steps, and continuing, if required, this process with alternately charged polyelectrolytes.

(57) Zusammenfassung: Es wird ein Verfahren zur Herstellung von Nano- oder Mikrokapseln mit einem Durchmesser von 20 nm bis 40 μ m vorgeschlagen, wobei Templatpartikel in einem wässrigen Medium vorgelegt, mit einem Polyelektrolyten elektrisch umgeladen werden, ohne Trenn- oder Waschschrte mit einem komplementär zum ersten Polyelektrolyten geladenen zweiten Polyelektrolyten wieder umgeladen werden, und dieser Prozeß mit alternierend geladenen Polyelektrolyten gegebenenfalls weiter fortgesetzt wird.

WO 01/64330 A1



— vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes, und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Nanokapseln mit einer Polyelektrolythülle

5

Beschreibung

10

15

Die Erfindung betrifft Nanokapseln, die mit einer in sich stabilen Hüllschicht aus Polyelektrolyten umgeben sind, Verfahren zur Herstellung solcher Strukturen und Verwendungen der Strukturen. Die Erfindung betrifft auch eine Vorrichtung zur Herstellung der Nanokapseln.

20

Bekannt sind Liposomen als eine biologisch sehr verträgliche Verpackungsform von verschiedenen Wirkstoffen. Die Bestandteile von Liposomen sind in hohen Dosen verträglich und lösen keine oder nur geringe Abwehrreaktionen des Immunsystems aus. Der Verwendung der Liposomen steht jedoch häufig ihre Empfindlichkeit gegenüber mechanischen, thermischen oder biologischen Einwirkungen entgegen.

25

Eine Verlängerung der Lebensdauer von Liposomen kann durch die Zusammensetzung der liposomalen Membran erreicht werden, allerdings gehen dabei andere wünschenswerte Eigenschaften, wie etwa die Fusionskompetenz, verloren.

30

Bisher wurden daher vielfältige Anstrengungen unternommen, die schonende und biokompatible Art der Verpackung durch Liposomen mit Hilfe von stabilisierenden Zusätzen für Anwendungen in der Pharmazie und Technik nutzbar zu machen.

5 Ein bekanntes Verfahren zur Erhöhung der Stabilität von Liposomen ist die Dotierung ihrer Oberfläche mit verschiedenen Polymeren, insbesondere mit Polyethylenglykol (PEG). Diese Komponenten bewirken eine sterische Abschirmung der Oberfläche und verhindern so den direkten
10 Angriff lytischer Komponenten, beispielsweise aus dem Blutsystem, an der Membran; z.B. "stealth liposomes" als liposomale Präparationen, bei denen die Liposomen mit einer Hülle aus PEG umgeben sind (D.D.Lasic, Liposomes - from physics to applications").

15 Andere bekannte Verfahren verwenden einen Schutz der liposomalen Membran durch Aufbringen von Zuckeroligomeren auf die Membranschicht, auch hier wird eine sterische Abschirmung der Membranoberfläche durch die aufgebrachten
20 Komponenten erreicht. Die erhaltenen Strukturen können, im Gegensatz zu den nicht modifizierten Liposomen, eingefroren oder lyophilisiert werden.

In der DE 198 52 928.7 und der WO 00/28972 werden
25 vielseitig modifizierbare, in sich stabile Hüllstrukturen auf liposomalen Templaten offenbart, die sich durch schichtweise Chemisorption von Polymeren oder Biomolekülen herstellen lassen. Das Verfahren erlaubt neben der Herstellung von Hüllschichten und Nanokapseln auch die

biokompatible Modifikation und Funktionalisierung der Oberfläche.

Strukturen mit ähnlichem Aufbau können alternativ auch
5 durch schichtweise Polyelektrolyt- Selbstassemblierung auf
kolloidalen Templaten erzeugt werden (Caruso, F. (1998)
Science 282:1111-1113, DE 198 12 083 A1, EP 0972563 A1 bzw.
WO 99/47253).

10 In der WO 00/03797 ist offenbart, dass sich Liposomen und
andere biologische Template als Träger für die Herstellung
von Nanokapseln durch schichtweise Selbstassemblierung
eignen.

15 Bekannte Verfahren zur Herstellung solcher Strukturen sind
die Vernetzung von Proteinen an Grenzflächen (US 5.498.421)
oder an der Oberfläche von Liposomen (Kupcu, S., Sara, M.
und Sleytr, U.B., Biochem. Biophys. Acta, 1235 (2): 263-269
(1995)).

20 In der US 5308701 ist ein Verfahren offenbart, das den
Einschluß unter anderem von Liposomen in Mikrokapseln aus
Polyelektrolytschichten beschreibt. In der dort
beschriebenen Lösung wird jedoch eine Bindung des ersten
25 Polyelektrolyts an die Lipidschicht vermieden. Die
Liposomen in der US 5308701 werden vielmehr wie jeder
andere gelöste Stoff mit einem Tröpfchen der sie umgebenden
Polymerisierung mikroverkapselt. Die Liposomen wirken nicht
als Templat der Mikrokapsel, im Ergebnis entstehen deutlich
30 größere Kapseln, die eine Vielzahl von Liposomen in ihrem

gelartigen Innern enthalten. Solche Mikrokapseln eignen sich aufgrund ihrer Größe nicht für Anwendungen in der Blutzirkulation.

5 Die bekannten Grundstrukturen haben weiterhin folgende Nachteile:

- Im US 5.498.421 wird eine Ölphase als Matrix verwendet, die konsequenterweise nur den Einschluß von fettlöslichen Substanzen erlaubt. Das schließt eine
10 Verwendung des Systems für die Mehrzahl der Biopolymere aus.

- Die von Kupcu et al. verwendeten S-Layer-Proteine sind als hochimmunogene Strukturen nicht für den Einsatz bei pharmazeutischen Trägern geeignet.

15

Nachteilig bei den offenbarten liposomalen Strukturen und Verfahren zu ihrer Herstellung ist weiterhin die mangelhafte Biokompatibilität sowie dass deren Auflösung an extreme Bedingungen wie hohe Temperaturen oder sehr
20 niedrige pH-Werte geknüpft ist.

Die bekannten Verfahren benutzen außerdem überschüssiges Polyelektrolytmaterial, um eine möglichst dichte und reproduzierbare Beschichtung der Oberfläche der Nanokapseln
25 oder Liposomen zu erreichen, deshalb sind weitere Verfahrensschritte notwendig, um das überschüssige Polyelektrolytmaterial wieder abzutrennen. Weiterhin ist für die Beschichtung von Liposomen mit Polyelektrolyten kein konkretes Verfahren offenbart. Die allgemein

vorgeschlagenen Verfahren, so z.B. in WO 00/03797, sind nicht durchführbar, da sich während des Verfahrens nicht auflösbare Aggregate bilden. Ein weiterer Nachteil ist, dass alle Verfahren diskontinuierlich ablaufen, so daß die Nanokapseln oder Liposomen nicht gleichmäßig beschichtet werden können.

Aufgabe der Erfindung war daher die Bereitstellung eines kostengünstigen Verfahrens, das eine einfache Produktion des Templates, insbesondere Liposomen, erlaubt, die mit einer eigenständigen Hüllschicht umgeben sind.

Die vorliegende Erfindung löst dieses technische Problem durch die Bereitstellung von Nano- oder Mikrokapseln mit einem Durchmesser zwischen 20 nm und 40 μ m, wobei Templatpartikel in einem wässrigen Medium vorgelegt, mit einem ersten Polyelektrolyten elektrisch umgeladen werden, ohne Trenn- oder Wachschriffe mit komplementär geladenen Polyelektrolyten wieder umgeladen werden, und dieser Prozeß mit alternierend geladenen Polyelektrolyten gegebenenfalls weiter fortgesetzt wird. Die alternierende Ladung der Schichten kann dadurch erzeugt werden, daß z.B. die erste Schicht aus anionischen oder überwiegend anionischen Polyelektrolyten und die zweite Schicht aus kationischen oder überwiegend kationischen Polyelektrolyten besteht.

Templats im Sinne der Erfindung sind alle Matritzen, die mit dem erfindungsgemäßen Verfahren beschichtet werden können. Nach Bereitstellung der Matritzen oder Templates können die Partikel z.B. amphiphil beschichtet und in einem

weiteren Schritt mit einem Polyelektrolyt beschichtet werden, dass insbesondere eine zur Oberfläche der Teilchenmaterialien entgegengesetzte Ladung aufweist. Zur Bildung von Mehrfachsichten werden die Templats anschließend mit entgegengesetzt geladenen Polyelektrolyten behandelt, d.h., abwechselnd mit kationischen und anionischen Polyelektrolyten. Die Polymerschichten fügen sich auf den vorher geladenen festen Matrizen durch elektrostatische schichtweise Abscheidung von selbst zusammen und bilden so eine mehrschichtige polymere Hülle um die festen Kerne.

Erfindungsgemäß lassen sich solche Strukturen alternierend geladener Polyelektrolyten, z.B. durch Aufbringen von zwei oder mehr wasserlöslichen jeweils komplementär geladenen Polyelektrolytschichten auf der Oberfläche insbesondere von Liposomen herstellen, die zur Ausbildung elektrostatischer Wechselwirkungen befähigt sind. Die direkt aufeinanderfolgenden Polymerelektrolytschichten sind zueinander entgegengesetzt geladen. Eine beliebige Anzahl, mindestens aber zwei solcher Polymerelektrolytschichten, können auf der Oberfläche der Liposomen abgeschieden werden. Polyelektrolyte im Sinne der Erfindung sind Polymere mit ionisch dissoziierbaren Gruppen, die Bestandteil oder Substituent der Polymerkette sein können und deren Zahl so groß ist, daß die Polymeren in der dissoziierten Form wasserlöslich sind. Ist die Konzentration der ionischen Gruppen für eine Wasserlöslichkeit nicht ausreichend, spricht man erfindungsgemäß von Ionomeren. Polymere mit nur einer oder wenigen ionischen Gruppen sind Makroionen, z.B.

Makroanionen oder Makrokationen. Je nach Art der dissoziierbaren Gruppen unterteilt man im Sinne der Erfindung die Polyelektrolyte in Polysäuren und Polybasen. Aus Polysäuren entstehen bei der Dissoziation unter Abspaltung von Protonen Polyanionen, die sowohl anorganisch als auch organisch Polymere sein können. Beispielsweise für Polysäuren, deren Salze als Polysalze bezeichnet werden, sind: Polyphosphorsäure, Polyvinylschwefelsäure, Polyvinylsulfonsäure, Polyvinylphosphonsäure und Polyacrylsäure. Polybasen enthalten als pro-ionische Gruppen solche, die u.a. in der Lage sind, Protonen, z.B. durch Reaktion mit Säuren unter Salz-Bildung, aufzunehmen. Typische Polybasen mit ketten- bzw. seitenständigen dissoziierbaren Gruppen sind Polyethylenimin, Polyvinylamin und Polyvinylpyridin.

Polyelektrolyte, die sowohl anionische als auch kationsiche Gruppen als Substituenten in einem Makromolekül enthalten, sind im Sinne der Erfindung Polyampholyte.

Polyelektrolyte dissoziieren zu Polyionen und den entsprechenden Gegenionen. Sie sind in der wässrigen Lösung ihrer Gegenionen in der Regel gut löslich. Ihre Makromoleküle sind in Lösungen infolge der elektrostatischen Abstoßung der ionischen Gruppen meist linear ausgerichtet; in nicht dissoziierter Form liegen sie dagegen als Knäuelmolekül vor. Mehr- und polyvalente Gegenionen bewirken eine Vernetzung der Polyelektrolyte, die bis zu deren Unlöslichkeit führen kann.

Polyelektrolyte können erfindungsgemäß sowohl Biopolymere, wie z.B. Alginsäure, Gummi arabicum, Nucleinsäuren, Pektine, Proteine u.a., als auch chemisch modifizierte Biopolymere, z.B. Carboxymethylcellulose, Ligninsulfonate und sythetische Polymere, z.B. Poly(meth)acrylsäure, Polyvinylsulfonsäure, Polyvinylphosphonsäure, Polyethylenimin sein. Weitere Polyelektrolyte sind dem Fachmann z.B. aus der WO 00/28972 oder WO 00/03797 bekannt, die in den Offenbarungsgehalt der Erfindung mit aufgenommen sind.

Es können z.B. solche Polymere zum Aufbau der Polyelektroschicht verwendet, die nicht nur strukturbildend, sondern auch aktivitätstragend sind. Solche Hüllen können zum Beispiel Bindungseigenschaften für andere Moleküle oder katalytische Eigenschaften besitzen. Unter den Proteinen finden sich z.B. solche Polymere mit strukturbildenden und aktivitätstragenden Eigenschaften, so kann beispielsweise Hämoglobin zum Aufbau der Hüllstruktur erfindungsgemäß genutzt werden. Die erfindungsgemäßen Nanokapseln können dann als Blutersatz verwendet werden. Es ist jedoch auch möglich, in die Polyelektrolytschicht Proteine zu integrieren, die vorkommende Merkmale anderer Proteine erkennen und binden können. Geeignete Proteine für diesen Zweck sind insbesondere Lektine, biotinbindende oder antikörperbindende Proteine. Derartige Nanokapseln können die Glykosylierungen, antigene Epitope oder Biotingruppen auf Proteinen oder anderen Makromolekülen erkennen und diese Komponenten hochspezifisch binden.

Als Ausgangsmaterial können Liposomen oder Templatpartikel verwendet werden, deren Größe die der entstehenden Nanokapseln bestimmen. Geeignete Methoden zur Herstellung solcher Liposomen sind dem Fachmann bekannt.

5 Erfindungsgemäß müssen die verwendeten Liposomen insbesondere die Bindung des wasserlöslichen Polymers ermöglichen. Methoden für die kovalente Koppelung in wässrigen Medien sind dem Fachmann bekannt und beinhalten unter anderem die heterofunktionelle und homofunktionelle

10 Verknüpfung von Amino-, Thiol-, Hydraxo-, Hydroxo-, Acidwasserstoff-, Aldehyd-, Carboxylgruppen oder von deren aktivierten Estern in geeigneten Kombinationen.

Die Interaktion zwischen dem Liposom und dem erstem

15 Polyelektrolyten kann sich aufgrund des Charakters der Lipidschicht von den bevorzugten elektrostatischen Interaktionen zwischen den darauffolgenden Schichten unterscheiden. Eine mögliche Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Lehre beinhaltet daher die Verwendung

20 solcher amphipatischer Polymere oder Polyelektrolyten, die in Verbindung mit einer Lipidschicht ein geladenes Partikel ergeben. Beispiele für solche Polyelektrolyte sind integrale oder membranständige Proteine, amphipatische Polymere wie Alkylacrylate, alkylmodifizierte

25 Zuckerpolymeren und andere dieser Stoffe, sie natürlichen oder synthetischen oder halbsynthetischen Ursprungs.

In einem folgenden Schritt wird auf die mit dem ersten Polymer beschichteten Templatpartikel eine zweite Schicht

30 mit einem anderen Polymer aufgebracht. Die Ladungen von

erstem und zweitem Polymer sind dabei zueinander komplementär. Erstes und zweites Polymer bilden an der Oberfläche der Liposomen ein Netzwerk aus.

5 Die verwendeten Polymere besitzen ein Zetapotential, das unter den Bedingungen der Reaktion verschieden von Null ist. Wichtige Größen zur Beeinflussung dieses Potentials sind der pH-Wert der Lösung und die Ionenstärke. Zu den geeigneten Verbindungen zählen eine Vielzahl von
10 Polyelektrolyten, aber auch andere wasserlösliche Polymere mit hinreichend polaren Gruppen. Zu den geeigneten Verbindungen gehören z.B.: Polysaccharide wie Alginsäure, Chitosan, Pektin, Hyaluronsäure, Polymannuronsäure, Polygalacturonsäure, Heparin, Gummi Arabicum, Karajagummi,
15 Xanthangummi, Karragenan, Locus Bean Gum und die Salze dieser Verbindungen sowie carboxylierte, aminierte, hydrazylierte Dextrane, Stärken, Levane, Inuline oder Agarosen.

20 Weitere Verbindungen sind natürliche oder synthetische Proteine oder Peptide oder andere Homo- oder Heteropolymere aus Aminosäuren, Oligonukleotide, DNA oder RNA in einsträngiger oder doppelsträngiger Form und in linearer oder zirkulär geschlossener Form, synthetische Polymere,
25 wie Polyacrylsäuren, Polyacrylamide, Polyacrylsäureester, und andere Polymere aus Derivaten der Acrylsäure, Polyvinylpyrrolidone, Polyethylenimine, Polystyrensulfonsäuren, Polyallylamine, Polyphosphazene und andere mehr. Weitere Verbindungen sind Hetero- oder
30 Blockpolymere aus den oben zugrundeliegenden Monomeren. Es

gehören weiterhin dazu Mischformen der aufgeführten Verbindungen wie glykosylierte Proteine, posttranslational modifizierte Proteine, Proteinkomplexe mit anderen Naturstoffen, Komplexe aus Proteinen und Nukleinsäuren, 5 Kopolymere aus Zuckern und Acrylaten und verwandte Verbindungen, insofern als alle diese Verbindungen insbesondere wasserlöslich sein sollten.

10 Nach zwei oder mehreren Beschichtungen erhält man Polyelektrolyt-beschichtete Nanokapseln, bei denen insbesondere eine Lipidmembran mit einer äußeren Hülle umgeben ist. Diese Hülle verändert vorteilhafterweise die Oberflächeneigenschaften der Liposomen und erhöht deren Stabilität. Sie kann z. B. durch Einwirkung chemischer 15 Quervernetzer weiter verfestigt werden.

Da die Beschichtungsreaktion nach dem erfindungsgemäßen Verfahren insbesondere sehr schnell geführt werden kann, können chemische Quervernetzer vorteilhafterweise bereits 20 zu Beginn der Reaktion der Suspension zugemischt werden und zweckmäßigerweise erst nach dem Ende der Beschichtungsreaktion aus der Suspension abgetrennt werden, wenn dies für die nachfolgende Verwendung wesentlich ist.

25 Das Verfahren erlaubt es, dass die Beschichtungsreaktion insbesondere innerhalb von wenigen Sekunden abgeschlossen sein kann, und selten länger als wenige Minuten dauert.

Geeignete Vernetzer sind alle Verbindungen, die z.B. in der 30 WO 00/28972 angegeben sind. Insbesondere Vernetzer, die die

elektrische Nettoladung der Polyelektrolyte nicht oder nicht wesentlich beeinflussen.

Die verwendeten Liposomen müssen insbesondere die Bindung
5 es ersten wasserlöslichen Polymers ermöglichen. Geeignete
Komponenten zur Erzeugung solcher Liposomen sind geladene
amphipatische Verbindungen, die sich in die Lipidschicht
einlagern können, vor allem ohne diese zu zerstören. Zu den
geeigneten Verbindungen gehören natürliche oder
10 synthetische Phospholipide und deren Derivate, insbesondere
Phosphatidylserin, Phosphatidylinositol,
Phosphatidylglycerol oder Phosphatidsäure, aber auch
Sphingolipide, Ceramide, Tetraetherlipide oder andere
Etherlipide sowie geladene Derivate des Cholesterols wie
15 Cholesterolsulfat, Cholesterolhemisuccinat,
Dimethylaminoethylcarbamoyl-Cholesterol und andere dieser
Verbindungen. Zu den geeigneten Verbindungen gehören
weiterhin Alkylcarbonsäuren, Alkylsulfonsäuren, Alkylamine,
Alkylammoniumsalze, Dialkylamine oder -ammoniumverbindungen
20 wie DOTAP oder DOTIM, Phosphorsäureester mit langkettigen
Alkoholen und weitere membranbildende oder membranständige
geladene Verbindungen. Ungeladene Membranbestandteile wie
Phosphatidylcholin, Phosphatidylethanolamin, α -Tocopherol,
Cholesterol und andere mehr können zusätzlich als
25 membranbildende Komponenten verwendet werden.

Die Liposomen als auch die verwendeten Polymere besitzen
insbesondere eine Vielzahl von Ladungen, die letztlich zu
einer Bindung der Komponenten aneinander und zu den
30 erfindungsgemäßen Nanokapseln führen können.

Die Liposomen können uni- oder multilamellare Membranstrukturen besitzen. Bevorzugt sind uni- oder oligolamellare Liposomen mit einer Größe zwischen 20 und 1000 nm, bevorzugt zwischen 50 und 500 nm, besonders bevorzugt zwischen 70 und 300 nm.

Mit Vorteil ist es möglich, dass sich durch die schnelle Abfolge der einzelnen Mischprozesse die Aggregationsneigung der Mischungen verringert, so dass auch Beschichtungen bei höheren Lipid- und Polymerkonzentrationen möglich sind, wobei insbesondere die Integrität der Liposomen im kontinuierlichen Beschichtungsverfahren besser erhalten bleibt als beispielsweise beim diskontinuierlichen Rührprozeß.

In einer bevorzugten Ausführungsform ist die Mischkammer ein statischer Mikromischer, der zu einer besonders schnellen und gleichmäßigen Mischung auch geringer Flüssigkeitsströme führt. Geeignete Mischer sind in der DE 199 25 184A1 beschrieben.

Diese Ausführungsvariante des Verfahrens funktioniert weitgehend unabhängig von der Natur des zur Beschichtung verwendeten Liposoms oder Templates. Die Vorteile der schnellen, mengenoptimierten und zwischenschrittfreien Herstellung von Nanokapseln lassen sich auch mit den bisher beschriebenen kolloidalen Liposomen oder Templaten nutzen. Vorteilhaft kann das Verfahren bei der Herstellung von Polyelektrolythüllen auf instabilen Templaten angewendet

werden. So lassen sich z.B. mit dem Verfahren auch Tröpfchen einer Öl-in-Wasser-Emulsion stabilisieren.

5 In einer weiteren bevorzugten Ausführungsvariante der Erfindung werden die Liposomen nach der Beschichtung mit Polyelektrolyten aufgelöst, vorzugsweise durch Auswaschen mit einem Detergenz. So können Strukturen in Form von Hohlkugeln entstehen, bei denen die Liposomen nach der Vernetzung aufgelöst wurden. Dabei kann es z.B. zur
10 Freisetzung von solchen Polymeren, die lediglich an der Lipidschicht, nicht aber untereinander gebunden sind, sowie zum Zerfall nicht hinreichend vernetzter Strukturen kommen. Die Nanokapseln lassen sich von diesen Zerfallsprodukten durch Sedimentation, Gelfiltration oder Ultrafiltration
15 abtrennen.

Geeignete Detergenzien zur Auflösung der innenliegenden Liposomen sind alkylierte Zucker wie etwa Octylglucosid, Salze der Cholsäure und ihrer Derivate, Alkylsulfonsäuren,
20 Polyoxyethylensorbitole oder ähnliche Verbindungen. Die Nanokapseln im Nanometerbereich im Sinne dieser Erfindung bestehen dann nur aus einem Polymergerüst, das die Oberfläche einer Kugel einnimmt. Die formgebenden Liposomen können insbesondere so entfernt werden, dass die Größe der
25 entstandenen Hohlkugeln durch die verwendeten Liposomen bestimmt ist.

Die Permeabilität der Hüllschicht der Nanokapseln kann vorteilhafterweise durch das Auswaschen der Liposomen
30 wesentlich erhöht werden. Dieser Prozeß beinhaltet

beispielsweise die Passage von Detergensmolekülen und Mischmicellen durch die äußere Hüllschicht. In gleicher Weise können Substrate und Produkte einer im Innern der Hohlkugel stattfindenden Reaktion ausgetauscht werden. Eine Anordnung zur Durchführung solcher Reaktionen besteht vorzugsweise aus Hohlkugeln mit im Inneren befindlichen enzymatisch aktiven Stoffen mit hohem Molekulargewicht, deren Liposomen durch Detergenzien ausgewaschen wurden. Geeignete Stoffe für einen solchen Einschluß sind insbesondere Enzyme oder Ribozyme. Es ist jedoch auch möglich, lediglich die nicht gebundenen Polymere auszuwaschen, so daß die Lipidschicht erhalten bleibt. So können nur solche Stoffe ausgetauscht werden, die durch die Lipidschicht diffundieren. Das sind amphiphile Moleküle, wie beispielsweise Phenylalanin. Nanokapseln, die Phenylalanin-4-Hydroxylase oder Phenylalanin-Ammoniak-Lyase enthalten, können insbesondere zum Abbau bestimmter Aminosäuren bei Phenylketonurie eingesetzt werden.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsvariante der Erfindung wird die Hüllschicht aus Polyelektrolyten nach ihrer Abscheidung mit bifunktionellen Reagenzien kovalent vernetzt.

In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsvariante des Verfahrens werden als Polyelektrolyte natürliche oder synthetische Polymere oder Mischformen dieser Verbindungen verwendet, beispielsweise Polysäuren oder Polybasen. Polysäuren werden unter anderem bei der Dissoziation von Polyanionen gebildet, wobei die Polyanionen anorganische

wie auch organische Polymere sein können. Polybasen enthalten Gruppen, die insbesondere in der Lage sind, Protonen aufzunehmen.

5 In einer weiteren Ausführungsvariante der Erfindung umfassen die Polyelektrolyte Alginsäuren, Chitosan, Nucleinsäuren, Polynucleotide und/oder Proteine, vorzugsweise Albumin, Hämoglobin, Myoglobin, Antikörper, Proteasen, α 2-Makroglobulin, Fibronectin, Collagen, 10 Vitronectin, Protein A, Protein G, Avidin, Streptavidin, Concanavalin A und/oder Wheat Germ Agglutinin.

In einer weiteren Ausführungsvariante des Verfahrens ist vorgesehen, daß in die Nanokapseln Wirkstoffe 15 eingeschlossen werden. Wirkstoffe können beispielsweise biologisch oder chemisch aktive Verbindungen sein, die in geringen Konzentrationen chemische, biochemische, biophysikalische und physiologische Prozesse, z.B. Stoffwechselprozesse, in Lebewesen qualitativ oder 20 quantitativ so beeinflussen, daß eine Aktivierung oder Hemmung bestimmter Prozesse erfolgt. Hierbei können beispielsweise Wirkstoffe eingesetzt werden, die natürlicherweise innerhalb von Organismen vorkommen, wie beispielsweise Vitamine oder Hormone; es ist jedoch auch 25 möglich, körperfremde Wirkstoffe einzusetzen, wie z.B. Biozide.

In einer weiteren Ausführungsvariante des Verfahrens ist vorgesehen, daß die Liposomen Phosphatidylserin, 30 Phosphatidylglycerol, Phosphatidsäure, Sphingolipide,

Ceramide, Tetraetherlipide, Cholesterolsulfat,
Cholesterolhemisuccinat, Dimethylaminoethylcarbamoyle-
Cholesterol, Alkylcarbonsäure, Alkylsulfonsäuren,
Alkylamine, Alkylammoniumsalze, Dialkylamine, DOTAP, DOTIM,
5 Phosphorsäureester mit langkettigen Alkoholen,
Phosphatidylcholin, Phosphatidylethanolamin und/oder α -
Tocopherol umfassen.

10 In einer weiteren Ausführungsvariante der Erfindung wird
die Beschichtung mit den Polymeren bei einer
Lipidkonzentration kleiner 2 mM. durchgeführt. Bevorzugt
sind Lipidkonzentrationen kleiner 1 mM, besonders bevorzugt
kleiner 0,5 mM und ganz besonders bevorzugt kleiner 0,2 mM.
Durch die gewählten Verdünnungen ist es vorteilhafterweise
15 möglich, die Aggregationsbildung zu unterdrücken.

In einer weiteren Ausführungsform ist vorgesehen, daß bei
dem Verfahren Liposomen mit 10 bis 50 Mol %, bevorzugt 30
bis 50 Mol % und insbesondere 35 bis 45 Mol % geladenen
20 Sterolen verwendet werden.

Zweckmäßig ist es bei dem Einsatz von Phospholipiden mehr
als 10 Mol%, bevorzugt mehr als 40 Mol% und besonders
bevorzugt mehr als 60 Mol% zu verwenden.

25 Mit Vorteil lässt die Menge des abgeschiedenen Polymers und
damit die Dichte der erzeugten Schichten mit der Dichte der
Ladungsträger auf dem Liposomen steuern. Dieser Befund ist
insofern überraschend, als die Ladungsträger in der
30 liposomalen Membran beweglich sein können und relativ

geringe Anteile schon zur stöchiometrischen Absättigung des Polymers ausreichen. Wenn die Ladungsträger selbst membranbildende Substanzen sind, wie etwa geladene Phospholipide oder deren Derivate oder auch geladene Dialkyle wie DOTAP oder DOTIM, so können mit Vorteil noch höhere Mengen an Ladungsträgern verwendet werden. In diesem Fall werden bevorzugt Anteile zwischen 10 und 100% des Gesamtlipids verwendet, weiter bevorzugt Anteile zwischen 40 und 100% und ganz besonders bevorzugt Anteile zwischen 40 und 80% der genannten Substanzen. Eine weitere Erhöhung der Ladungsträgerdichte an der Oberfläche ist vorteilhafterweise durch die Verwendung mehrfach geladener Gruppen möglich, etwa durch hohe Anteile der zweifach negativ geladenen Phosphatidsäure oder durch mehrfach geladen substituierte membranständige Verbindungen, etwa Konjugaten aus Spermin und Sterolen oder solchen aus Oligopeptiden und Phospholipiden oder solchen aus Heparin und Lipiden oder auch solchen aus anderen multifunktionellen Verbindungen, etwa Oligo- und Polycarbonsäuren oder Oligo- bzw. Polyaminen, und Lipiden. Der Übergang zu Lipid-Polymerkonjugaten ist fließend und die genannten Beispiele können durch den Fachmann leicht weiter ergänzt werden.

In einer weiteren Ausführungsvariante der Erfindung wird die Beschichtung mit den Polymeren bei einer Salzkonzentration größer 50 mM durchgeführt.

Vorteilhafterweise kann die Dichte der liposomalen Ladungsträger durch die maximale Salzkonzentration der

Lösung bestimmt werden, bei der noch eine vollständige Bindung des Polymers an die Template erfolgt. Eine Durchführung der Beschichtung bei einer möglichst hohen Salzkonzentration ist aus zwei Gründen vorteilhaft:

- 5 (i) Salzkonzentrationen größer als 50mM führen zu einer deutlichen Kompaktierung hochgeladener Polymere, da die intramolekulare Abstossung verringert wird. Dadurch ist eine dichtere Packung der Polyelektrolyte auf der Oberfläche möglich.
- 10 (ii) Eine nachträgliche Erhöhung der Salzkonzentration des Mediums führt nicht immer, aber in vielen Fällen zu einer Aggregation der Partikel, wohl durch partielle Destabilisierung der äußeren Polyelektrolytschicht. Eine Verringerung der Salzkonzentration ist jedoch
- 15 unschädlich.

Insbesondere benötigt die Beschichtungsreaktion auch bei den Verdünnungen erheblich weniger Zeit, als nach dem Stand der Technik zu erwarten gewesen wäre. Dieser schnelle

20 Reaktionsverlauf ermöglicht den sinnvollen Aufbau eines kontinuierlichen Verfahrens.

Es wurde in diesem Zusammenhang weiterhin überraschend festgestellt, dass die Phasenübergangstemperatur der

25 liposomalen Membran Einfluss auf die Reaktionsgeschwindigkeit hat. So verlaufen die Beschichtungsreaktionen schneller, wenn die Lipidmembran oberhalb der Phasenübergangstemperatur beschichtet wird.

In einer bevorzugten Ausführungsvariante der Erfindung ist vorgesehen, dass ein Reaktionszyklus in weniger als 20 Minuten, bevorzugt in weniger als fünf Minuten, besonders bevorzugt in weniger als einer Minute durchlaufen wird.

5

In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsvariante der Erfindung wird bei der Beschichtungsreaktion oder nach deren Abschluß ein chemischer Vernetzer zugesetzt.

10

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsvariante der Erfindung ist vorgesehen, dass die Templatpartikel eine Größe zwischen 20 nm und 1000 nm, bevorzugt zwischen 50 nm und 500 nm und besonders bevorzugt zwischen 70 nm und 30 nm besitzen.

15

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsvariante der Erfindung werden in einer Schicht zwei oder mehr voneinander verschiedene Polyelektrolyte gleichzeitig oder nacheinander aufgebracht.

20

In einer bevorzugten Ausführungsvariante sind die Templatpartikel Liposomen.

25

Es kann zweckmäßig sein, dass die Templatpartikel in einer Öl-in-Wasser-Emulsion vorliegen. Insbesondere kann es zweckmäßig sein, dass die Emulsionen in ihrer Ölphase Wirkstoffe enthalten.

30

Bei einer bevorzugten Ausführungsvariante der Erfindung weisen die Nanokapseln zusätzlich eine Lipidschicht auf, auf

der sich die Polyelektrolytschichten befinden. Die Lipidschicht kann beispielsweise die äußere Ölschicht von Liposomen sein, die sich in der Nanokapsel befinden.

5 Die Erfindung betrifft auch Strukturen, die im Inneren Lipidschichten enthalten, wobei im Inneren der Strukturen eine Flüssigphase vorliegen kann. Prinzipiell ist es möglich, daß die Nanokapseln jede Flüssigkeit, zu der im Sinne der Erfindung auch Suspensionen gehören, in ihrem
10 Inneren enthalten können. Beispiele für Flüssigkeiten sind beispielsweise Wasser, Puffer, Flüssig-Aerosole und andere.

Es kann zweckmäßig sein, wenn die Strukturen in ihrem Inneren eine nicht wassermischbare Ölphase enthalten.

15 In einer weiteren Ausführungsvariante der Erfindung befinden sich in den Strukturen Wirkstoffe. Wirkstoffe im Sinne der Erfindung sind Stoffe, die - in relativ kleinen Mengen vorkommend oder zugeführt - eine physiologische
20 Wirkung entfalten können. Beispiele für derartige Wirkstoffe sind Hormone, Vitamine, Enzyme, Spurenelemente, Pharmaka, Futterzusätze, Düngemittel, Schädlingsbekämpfungsmittel und andere.

25 Die Wirkstoffe im Sinne der Erfindung können unter anderem biochemische und physiologische Prozesse in Lebewesen qualitativ oder quantitativ im Sinne einer Aktivierung oder Hemmung beeinflussen.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung sind die Wirkstoffe Bestandteil der Polyelektrolytschicht oder der Lipidschicht der Strukturen. Vorteilhafterweise können so beispielsweise lipidlösliche Komponenten, wie
5 beispielsweise fettlösliche Vitamine, mit hohen Konzentrationen in die Nanokapseln eingebracht werden.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist der Wirkstoff ein Katalysator, ein Biokatalysator,
10 Pharmaka, ein Enzym, ein pharmazeutischer Stoff, ein Protein, ein Peptid, ein Oligonucleotid, ein Sensor, Nucleinsäuren und/oder ein Kristall. Die Wirkstoffe können beispielsweise in die Nanokapseln eingeschlossen werden oder wenn sich innerhalb der Nanokapseln Liposomen
15 befinden, können die genannten Wirkstoffe auch in die Liposomen eingeschlossen werden. In diesem Falle können Liposomen verwendet werden, welche die einzuschließenden Stoffe bereits enthalten. Methoden zur Herstellung solcher Liposomen sind dem Fachmann bekannt. Die verwendbaren
20 Stoffe sind insofern spezifiziert als sie die Integrität der Liposomen nicht nachteilig beeinflussen sollten, wie etwa Detergenzien. Geeignete Stoffe sind z.B. Proteine, Peptide, Vitamine, Hormone, Kohlenhydrate oder Nukleinsäuren sowie Gemische derselben. Zu den geeigneten
25 Stoffen gehören weiterhin Antibiotika, Fungizide und antivirale Agenzien, Antikörper, Zytostatika und Immunsuppressiva, Analgetika, Anästhetika, Antidepressiva, Antidiabetika, Antihypertensika, Antikoagulationen, antiinflammatorische, angstlösende, sedative,
30 antiarrhythmische, antiarthritische Wirkstoffe,

Bronchodilatoren, hypoglykämische und hypolipidämische Wirkstoffe sowie Wirkstoffe zur Stimulierung der Erythropoese und apoptoseauslösende Stoffe. Für den Einschluß von Cargomolekülen kann man ebenfalls von
5 Liposomen ausgehen, die diese Stoffe bereits enthalten oder an denen solche Stoffe gebunden sind. Die eingeschlossenen oder gebundenen Stoffe verbleiben bei allen Reaktionsschritten in den innen liegenden Liposomen oder in der Lipidschicht.

10

Die Erfindung betrifft auch die Verwendung der erfindungsgemäßen Nanokapseln als Container oder Transporter bei pharmazeutischen Zubereitungen.

15

Die Verwendung der beschichteten Liposomen erfolgt insbesondere als Container und Transporter für biologisch wirksame Stoffe.

20

Aufgrund der Vielzahl von verwendbaren Komponenten lassen sich die beschichteten Liposomen und die lipidfreien Nanokapseln für eine große Zahl von Anwendungen einsetzen. Die Verwendung der Nanokapseln erweitert das Spektrum der Trägermaterialien im Sinne eines drug targeting, eines Transfervektors, einer Depotform oder für eine
25 Enzyzersatztherapie. Dabei können die verwendeten Komponenten vorteilhafterweise sowohl strukturbildend als auch aktivitätstragend sein. Die beschichteten Liposomen und die lipidfreien Nanokapseln lassen sich insbesondere aus Stoffen mit einer antigenen Wirkung herstellen oder aus
30 solchen, die keine Immunantwort hervorrufen.

Die Verwendung der Nanokapseln wird möglich durch die Vorteile des erfindungsgemäßen Verfahrens, das erstmals die Vorteile des schonenden Einschlusses von Wirkstoffen in Liposomen mit einer effizienten Technologie zur Beschichtung von kolloidalen Partikeln kombiniert, die ohne den Einsatz von weiteren Hilfsstoffen ausgeführt werden kann und daher von besondere Vorteile bei pharmazeutischen Verwendungen erlaubt.

Für die Verwendung in Detektionssystemen sind enzymatische oder fluoreszierende Eigenschaften der Nanokapseln vorteilhaft. Geeignete Stoffe mit solchen Eigenschaften sind das Green Fluorescent Protein oder Phycobiliproteine. Andere geeignete Polymere lassen sich mit fluoreszierenden Stoffen modifizieren. Geeignete Methoden dazu sind dem Fachmann an sich bekannt und beinhalten die kovalente Bindung des aktivierten Fluorophors an entsprechende Gruppen des Polymers oder die Komplexbildung von fluoreszierenden Metallionen mit chelatisierenden Gruppen des Polymers.

Unter den Proteinen finden sich Polymere mit enzymatischer Aktivität, etwa als Peroxidasen, Phosphatasen, Proteasen, Dehydrogenasen, Glucosidasen und andere mehr.

Nanokapseln mit einem solchen Aufbau können aber auch für eine zielgesteuerte Applikation von Arzneistoffen benutzt werden. Zu den hochspezifischen Molekülen gehören daher insbesondere solche, die mit der Oberfläche von Zellen

interagieren können. Komplementäre Paare in diesem Sinne sind Antikörper und membranständige Antigene, Lektine oder Selektine und membranständige Antigene, Lektine oder Selektine und membranständige Glykosylierungen, Hormone und deren Rezeptoren und andere mehr. Vorteilhaft ist der modulare Aufbau der Strukturen, der zum einen die Erzeugung einer offenen Anzahl von Spezifitäten auf einigen wenigen Hüllschichten erlaubt, zum anderen einen sehr ökonomischen Einsatz der letztlich spezifitätsbestimmenden Komponenten gestattet. Die Valenz der erhaltenen Struktur, das heißt die Anzahl der oberflächlich gebundenen spezifitätsbestimmenden Komponenten läßt sich leicht durch Titration verändern. Eine hohe Dichte dieser Komponenten ist gleichbedeutend mit einer hohen Avidität und ermöglicht stabile Interaktionen auch bei ungünstigen Bindungskonstanten der einzelnen Wechselwirkung, wie sie etwa zwischen MHC-Komplexen und T-Zell-Rezeptoren gegeben ist.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung werden Nanokapseln nach ihrer Entstehung mit anderen Stoffen modifiziert. Eine wichtige Variante dieser Ausgestaltung ist die Modifizierung der Oberfläche der Nanokapseln mit Polyethylenglykol oder mit Zuckern oder anderen Polyalkoholen. Eine solche Beschichtung führt zu Partikeln mit einer verbesserten Verträglichkeit bei pharmazeutischen Anwendungen. Benutzt man die hier beschriebene Struktur zum Einschluß von Enzymen oder anderen Katalysatoren, so ist durch die diffusionsoffene Architektur eine hohe Verfügbarkeit der eingeschlossenen

Aktivität gewährleistet. Bei der gewählten Größe im Mikrometer- und Submikrometerbereich sind die Diffusionswege zudem extrem kurz. Andere Anwendungen sind bei der Herstellung von Mikrokristallen bestimmter Größe auf chemischen oder biochemischen Weg gegeben.

In einer weiteren Verwendung kommen insbesondere solche Stoffe mit enzymatischer Aktivität zum Einsatz, deren Substrate und Produkte durch die Hüllschicht ausgetauscht werden können.

Nanokapseln im Sinne der vorliegenden Erfindung besitzen eine diffusionsoffene Struktur, die den Austausch von Molekülen mit signifikanter Größe, etwa beim Herauslösen der Lipidschicht, zulässt. Große Moleküle wie etwa Enzyme können jedoch von der Hüllschicht zurückgehalten werden. In weiteren erfindungsgemäßen Verwendungen der Nanokapseln sind diese mit solchen Enzymen gefüllt, die Reaktionen katalysieren, deren Substrate und Produkte die Hüllschicht passieren können. Diese Art der Verpackung eines biologischen Makromoleküls in Nanokapseln hat gegenüber dem Stand der Technik den Vorteil extrem geringer Diffusionswege und einer damit verbundenen Erhöhung der spezifischen Aktivität des eingeschlossenen Enzyms. Darüber hinaus kann die Einwirkung von vernetzenden Agenzien, wie sie bei der chemischen Fixierung auftritt, vermieden werden.

Es ist jedoch auch möglich, signalgebende Systeme, wie etwa Meerrettich-Peroxidase oder alkalische Phosphatase oder

fluorescenzmarkierte Makromoleküle, in solche Nanokapseln einzuschliessen, die spezifische Bindungseigenschaften gegenüber anderen Stoffen aufweisen. Solche Systeme sind zur Detektion dieser anderen Stoffe geeignet, insbesondere in der medizinischen oder biochemischen Diagnostik. Vorteilhaft gegenüber den Liposomen ist die Tatsache, daß Nanokapseln stabil gegenüber Detergenzien sind, insbesondere auch gegenüber solchen Detergenzien, die zur Unterdrückung unspezifischer Bindungen in solchen Verfahren eingesetzt werden, wie etwa Tween 20 oder Triton X-100.

In einer Variante dieser erfindungsgemäßen Verwendung sind die Nanokapseln selbst Träger des signalgebenden Systems. Vorteilhaft werden Nanokapseln präpariert, deren Polymere fluoreszierende Eigenschaften besitzen. Dabei werden fluoreszierende Derivate von P1 und/oder P2 zum Aufbau der Nanokapseln verwendet oder die Nanokapseln nach ihrer Herstellung mit fluoreszierenden Stoffen kovalent verbunden.

20

In einer erfindungsgemäßen Verwendung der Nanokapseln sind diese so beschaffen, daß sie spezifisch an Zielzellen von Säugetieren binden. Nanokapseln im Sinne dieser Verwendung besitzen eine oder mehrere Klassen von Liganden auf ihrer Oberfläche, deren komplementäre Bindungspartner sich auf der Oberfläche der Zielzellen befinden. Nanokapseln mit solchen Eigenschaften sind Träger für Therapeutika, die diese an einen definierten Wirkort dirigieren. Die innere Lipidschicht der Hohlkugeln kann bei dieser Verwendung

25

erhalten bleiben, wenn es dem Einschluß der zu transportierenden Substanz dienlich ist.

5 In einer Variante dieser erfindungsgemäßen Verwendung enthalten die Nanokapseln Stoffe, gegen die eine Immunantwort ausgelöst werden soll.

10 In einer vorteilhaften Variante dieser Ausgestaltung der Erfindung werden die Nanokapseln zum Transfer von Wirkstoffen in das Cytosol von Säugetierzellen benutzt. Diese Nanokapseln sind so beschaffen, dass sie von Säugetierzellen endozytiert werden. Nanokapseln für diese Ausgestaltung der Erfindung bestehen aus einer Hüllschicht, die von den Hydrolasen des Endosoms abgebaut werden kann.

15 Sie werden darüberhinaus aus solchen Liposomen hergestellt, deren Membran mit der des endozytotischen Vesikels fusionieren kann. Vorteilhaft bei dieser Ausgestaltung der erfinderischen Lehre ist die Tatsache, dass eine solche Fusion nicht zu einer Freisetzung lytischer endosomaler

20 Aktivitäten in das Zellinnere führen kann. Nanokapseln für diesen Verwendungszweck können mit unterschiedlichen Wirkstoffen beladen werden. Der beschriebene Transportweg ist jedoch von besonderem Vorteil beim Transport nicht membrangängiger biologischer Makromoleküle, wie etwa

25 Proteine, Peptide, Antikörper, Enzyme, Oligonukleotide, DNA, RNA, Hormone, aber auch von Antibiotika, Fungiziden und antivirale Agenzien sowie von Zytostatika.

In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsvariante der Erfindung ist vorgesehen, die Nanokapseln in der biochemischen Diagnostik einzusetzen.

5 In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsvariante der Erfindung ist weiterhin vorgesehen, die Nanokapseln zur Herstellung von Mikrokristallen, Herbiziden, Pestiziden und/oder Pigmenten zu verwenden. Mikrokristalle im Sinne der Erfindung sind beispielsweise Werkstoffe, die aus einem
10 oder mehreren Materialien bestehen und eine mikroskopische Ordnung aufweisen. Es kann sich beispielsweise um Peptidmoleküle handeln. Herbizide im Sinne der Erfindung sind Substanzen, die in der Lage sind, alle Wild- und Kulturpflanzen, die an ihrem jeweiligen Standort
15 unerwünscht sind, in ihrer Entwicklung negativ zu modifizieren. Es kann sich beispielsweise um Entblättermittel, Krautabtötungsmittel oder andere als Aerosol, Flüssigkeit oder Feststoff vorliegende Substanzen handeln. Die Herbizide in den erfindungsgemäßen Nanokapseln
20 können sowohl in der Vorsaatsaat, dem Voraufbau und dem Nachaufbau der Kulturpflanzen eingesetzt werden. Die einzelnen Wirkstoffe können dabei so gewählt werden, daß die anmeldungsgemäßen Nanokapseln in den Boden eingebracht werden, bzw. im Blattbereich der Pflanze. Entfalten die
25 Herbizide ihre Wirkung direkt am Benetzungsort, handelt es sich insbesondere um Kontaktherbizide. Im einzelnen können eingesetzt werden: Photosynthesehemmer, Atmungshemmer, Buckstoffhemmer, Keimhemmer, Carotinsynthesehemmer und andere. Pestizide im Sinne der Erfindung sind alle
30 Zubereitungen, die Schadorganismen oder lästige Organismen

unschädlich machen, vernichten oder ihrer Einwirkung vorbeugen können. Hierzu können beispielsweise Mittel gegen Fliegen, Bremsen, Mücken, Schaben, Wanzen oder Flöhe und andere gehören, wie auch Erzeugnisse, die gegen Ratten, Mäuse, Käfer oder Motten eingesetzt werden können. Pigmente im Sinne der Erfindung sind ein im wesentlichen unlösliches, anorganisches oder organisches, buntes oder unbuntes Farbmittel.

Die Erfindung betrifft auch eine Vorrichtung zur kontinuierlichen Beschichtung von Liposomen in mehreren Polyelektrolytschichten, wobei in dem von einer Pumpe bewirkten Hauptfluss der Liposomen nach einem Dämpfungsglied für jeden getrennt zugeführten, von einer Pumpe bewirkten Zufluss des aufzubringenden Polyelektrolyts, ein Mischer vorgesehen ist, wobei zwischen den Mixern jeweils ein Zeitglied angeordnet ist und zwischen den Pumpen für das Einbringen der Polyelektrolyte und den Mixern jeweils ein Dämpfungsglied angeordnet ist.

Bestandteil der erfindungsgemäßen Lehre ist demnach eine Apparatur zur kontinuierlichen Beschichtung von Liposomen mit mehreren Polyelektrolythüllen. Dabei wird mit einer Pumpe ein konstanter Fluß der Liposomenlösung in einem Schlauchsystem ermöglicht. Die zur Beschichtung benutzten Polyelektrolyte werden nacheinander in das Schlauchsystem eingeführt, wie in der Figur 1 gezeigt. Die Mischung der Reaktanden erfolgt durch hohen Fluß oder mit dynamischen oder statischen Mixern an den Zuführungspunkten. Das Volumen der Schlauchabschnitte zwischen den einzelnen

Mischpunkten ist dabei so bemessen, dass bei der gegebenen Fließgeschwindigkeit eine hinreichend lange Reaktionszeit bis zur Erreichung des nächsten Mischpunktes zur Verfügung steht.

5

Die Vorrichtung kann in einer besonderen Ausführungsform so ausgebildet sein, dass die Schlauchleitung das Zeitglied bildet.

10

Nanokapseln gemäß der hier vorliegenden Erfindung weisen mehrere Vorteile auf und sind hydrophile, permeable und detergensstabile Strukturen aus vernetzten Polymeren, die sich aufgrund der Vielzahl von verwendbaren Komponenten für eine große Zahl von Anwendungen spezifizieren lassen. Die

15

vorliegende Erfindung erweitert erheblich das Spektrum solcher Stoffe, die sich als Trägermaterialien im Sinne eines drug targeting, eines Transfervektors, einer Depotform oder für eine Enzyzersatztherapie verwenden lassen. Dabei können die verwendeten Komponenten sowohl

20 strukturbildend als auch aktivitätstragend sein. Die beschriebenen Hohlkugeln lassen sich aus Stoffen mit einer antigenen Wirkung herstellen oder aus solchen, die keine Immunantwort hervorrufen.

25

Bei dem anmeldungsgemäßen Verfahren, welches zahlreiche Vorteile gegenüber dem Stand der Technik aufweist, wurde überraschend gefunden, daß mit geeigneten Masseverhältnissen eine praktisch vollständige Bindung des eingesetzten Polymers an die Liposomen möglich ist, so dass

30 Trennungsschritte zwischen den einzelnen Beschichtungen

entfallen können. Dieser Umstand trägt entscheidend zur Prozeßökonomie des Verfahrens bei. Die geeignete Menge des jeweils benötigten Schichtmaterials entspricht in etwa der maximal unter den gegebenen Reaktionsbedingungen gebundenen Menge und ist daraus ableitbar.

Zur Feststellung der für das jeweilige Partikel geeigneten Menge an Polyelektrolyt titriert man in mehreren kleinen Ansätzen steigende Mengen Polymer zu vorgelegter Partikelsuspension und bestimmt anschließend die Größe der Partikel. Die Größe der Liposomen nimmt durch Aggregatbildung mit dem Polymer schnell zu und überschreitet dann ein Maximum. Erreicht die Größe mit steigenden Polymermengen wieder den ursprünglichen Wert, dann wird die optimal zur Beschichtung geeignete Menge verwendet.

Überraschenderweise wurde bei einer Reihe von Polymeren, insbesondere bei Proteinen, eine geringe Neigung zur Bildung von Aggregaten festgestellt. Mit diesen Stoffen können Partikel beliebiger Beschichtungsstufen, also Templatpartikel oder bereits beschichtete Spezies zunächst so beschichtet werden, dass es noch zu keiner Umladung kommt. Diese wird dann durch weitere Zugaben von gleichem oder von gleichgeladenem, aber stofflich verschiedenem Polyelektrolyt erreicht. Auf diese Weise lassen sich einzelne Schichten etwas mit aktivitätstragenden Molekülen dotieren. Die dosierte Verwendung von spezifisch bindenden Komponenten ermöglicht eine Variierung der Bindungsstärke des Partikels.

Eine wichtige Variante der erfinderischen Lehre besteht darin, dass Liposomen schon im Prozess ihrer Entstehung mit komplementär geladenen Polyelektrolyten in Kontakt gebracht werden. Solche Liposomen enthalten sowohl eingeschlossene als auch außen anhaftende Polyelektrolytmoleküle. Die Aggregationsneigung verringert sich mit der Konzentration des Polyelektrolyts, bevorzugt werden weniger als 500 $\mu\text{m}/\text{mg}$ Lipid, besonders bevorzugt weniger als 150 μg Protein/mg Lipid verwendet.

In verdünnter Suspension nach den oben beschriebenen bevorzugten Konzentrationen sind solche Partikel für mehrere Minuten bis Stunden stabil und können nach dem erfindungsgemäßen Verfahren weiter beschichtet werden. Vorteilhaft wirkt sich hier aus, dass auch beim Einschluß von Wirkstoffen keine Trenn- oder Waschschrirte notwendig sind.

Weiterhin wurde überraschend festgestellt, daß sich die Menge des abgeschiedenen Polymers und damit die Dichte der erzeugten Schichten mit der Dichte der Ladungsträger auf den Liposomen steuern lässt.

Ein weiterer Vorteil gegenüber dem Stand der Technik ist, daß sich der unerwünschte Prozess der Aggregatbildung durch sehr schnelles Mischen der Reaktionspartner und geeignete Verdünnungen unterdrücken lässt. Ein weiterer Vorteil ist, daß die Dichte der liposomalen Ladungsträger durch die maximale Salzkonzentration der Lösung bestimmt werden kann.

Bei bekannten Verfahren tritt bei der Herstellung solcher Gemische starke Aggregatbildung auf, die zur Flockung der Reaktionspartner führt. Vorteilhafter lässt sich dieser unerwünschte Prozeß durch sehr schnelles Mischen der Reaktionspartner und geeignete Verdünnungen und dem unmittelbar aufeinanderfolgen der einzelnen Schritte unterdrücken läßt.

Im folgenden soll die Erfindung anhand von Beispielen näher erläutert werden, ohne dass die Erfindung auf diese Beispiele zu beschränken ist.

Beispiele

Verwendete Abkürzungen

CTAB	Cetyltrimethylammoniumbromid
FITC	Fluoresceinisothiocyanat
PC	Phosphatidylcholin
MES	2-(N-Morpholino)-ethansulfonsäure
PSS	Polystyrensulfonsäure
PEI	Polyethylenimin
DPPC	Dipalmitoylphosphatidylcholin
DPPG	Dipalmitoylphosphatidylglycerol
DOPE	Dioleoylphosphatidylethanolamin
CHEMS	Cholesterinhemisuccinat
Hepes	N-(2-Hydroxyethyl)piperazin-N'-(2-ethansulfonsäure)
PLL	Poly-L-Lysin
PAS	Polyacrylsäure
BSA	Rinderserumalbumin

Beispiel 1**Nanokapseln aus Polystyrensulfonsäure und Polyethylenimin**5 **Herstellung der Liposomen**

400 mg PC aus Soja und 9,7 mg CTAB werden in Ethanol gelöst und unter Vakuum bis zur Trockne eingedampft. Der Lipidfilm wird anschließend mit einem Puffer (10 mM MES, 150 mM NaCl
10 pH 6.5) rehydratisiert. Die Suspension wird dann mehrmals durch isopore Polykarbonatmembranen mit einer Porengröße von 0,2 μm gedrückt.

Beschichtung mit PSS

15

PSS (Mr 70000) wird mit einer Konzentration von 10 $\mu\text{g/ml}$ in MES-Puffer (10 mM pH 6.5) gelöst. Die Liposomen werden mit dem gleichen Puffer so verdünnt, dass eine Lipidkonzentration von 200 $\mu\text{g/ml}$ erreicht wird. Gleiche
20 Volumina beider Lösungen werden unter Rühren zusammengegeben. Anschließend wird die Suspension mittels Tangentialdialyse aufkonzentriert.

Beschichtung mit PEI

25

PEI (Mr 60000) wird mit einer Konzentration von 5 $\mu\text{g/ml}$ in MES-Puffer (10 mM pH 6.5) gelöst. Die mit PSS beschichteten Liposomen werden im gleichen Puffer soweit verdünnt, dass eine Lipidkonzentration von 200 $\mu\text{g/ml}$ erreicht wird.
30 Gleiche Volumina beider Lösungen werden unter Rühren

zusammengegeben. Anschließend wird die Suspension mittels Tangentialdialyse aufkonzentriert.

5 Weitere Beschichtungen können wie in den beiden oberen Schritten aufgebracht werden. Die eingesetzte Menge Polymer bindet hinreichend vollständig an die Partikeloberfläche, so dass keine Reinigungsschritte zwischengeschaltet werden müssen.

10

Beispiel 2

Analyse der entstandenen Strukturen

15 Die Intensität des von einer Partikelsuspension erzeugten Streulichts wird in einer Apparatur zur dynamischen Lichtstreuung gemessen. Nach Zugabe von Detergenz sinkt die gemessene Intensität bei Liposomen auf weniger als 5% des Ausgangswertes. Nach Beschichtung mit drei oder mehr Polymerschichten bleiben mehr als 40% der Intensität
20 erhalten.

Die Stabilität der so erhaltenen, liposomenfreien Hohlkugeln wird durch Zugabe von NaCl geprüft. Die Partikel sind mindestens gegenüber 1 M NaCl beständig.

25

30

Beispiel 3**Stabilität der Strukturen im Serum**

Die beschichteten Liposomen aus Beispiel 1 werden durch
5 Ultrafiltration aufkonzentriert, so dass die
Lipidkonzentration bei 1 mg/ml liegt und dann mit der
gleichen Menge humanem Serum gemischt. Die Intensität des
von der Partikelsuspension gestreuten Lichts wird in einer
Apparatur zur dynamischen Lichtstreuung gemessen.
10 Gleichzeitig wird die Größe der Partikel bestimmt. 24 h
nach der Zugabe des Serums sind mehr als 90% der Partikel
in ihrer ursprünglichen Größe noch nachweisbar.

Beispiel 4**Herstellung fluoreszierender Nanokapseln****Modifizierung von PEI**

20 100 mg PEI werden in 10 ml Boratpuffer (0.1 M pH 9.0)
gelöst und mit 1ml Fluorescein-Isothiocyanat (10 mg/ml in
Dimethylformamid) versetzt. Die Mischung wird über Nacht
bei Raumtemperatur inkubiert. Fluoreszierendes PEI wird
mittels Gelfiltration an Sephadex G-25® gereinigt. Zur
25 Elution der Säule wird ein Puffer aus 10 mM MES und 150 mM
NaCl, pH 6.5 verwendet. Eluiertes PEI kann über sein
Streulicht in einer Apparatur zur dynamischen Lichtsreuung
nachgewiesen werden, die Fluoresceinmarkierung wird anhand
ihrer Absorption detektiert. Fraktionen mit einem

konstanten Verhältnis von Fluorescein zu PEI werden vereinigt und für die nachfolgende Beschichtung genutzt.

Herstellung der Liposomen erfolgt wie in Beispiel 1.

5

Beschichtung mit PSS erfolgt wie in Beispiel 1.

Beschichtung mit modifiziertem PEI

10 Fluorescein-markiertes PEI wird mit einer Konzentration von 10 µg/ml in MES-Puffer (10 mM pH 6.5) gelöst. Die mit PSS beschichteten Liposomen werden im gleichen Puffer soweit verdünnt, dass eine Lipidkonzentration von 200 µg/ml erreicht wird. Gleiche Volumina beider Lösungen werden
15 unter Rühren zusammengegeben. Anschließend wird die Suspension mittels Tangentialdialyse aufkonzentriert.

Weitere Beschichtungen können wie in den beiden oberen Schritten aufgebracht werden. Die eingesetzte Menge Polymer
20 bindet hinreichend vollständig an die Partikeloberfläche, so dass keine Reinigungsschritte zwischengeschaltet werden müssen.

Beispiel 5

25 **Einschluß eines fluoreszierenden Cargos**

Herstellung der Liposomen

400 mg PC aus Soja und 9,7 mg CTAB werden in Ethanol gelöst
30 und unter Vakuum bis zur Trockne eingedampft. Der Lipidfilm

wird anschließend mit einer Carboxyfluoresceinlösung (100 mM Carboxyfluorescein, 10 mM MES, 150 mM NaCl pH 6.5) rehydratisiert. Die Suspension wird dann mehrmals durch isopore Polykarbonatmembranen mit einer Porengröße von 0,2 μm gedrückt.

Nicht eingeschlossenes Carboxyfluorescein wird durch Gelfiltration an Sephadex® G25 entfernt.

Beschichtung

Die Liposomen werden wie in Beispiel 1 mit PSS und PEI beschichtet. Insgesamt werden fünf Schichten aufgebracht, wobei die äußere und die innere Schicht aus PSS bestehen.

Beispiel 6

Beschichtung mit PLL in Abhängigkeit von der liposomalen Ladungsdichte

Herstellung der Liposomen

10-100 mol-% DPPG und ergänzende Mengen DPPC werden in Isopropanol gelöst und unter Vakuum bis zur Trockne eingedampft. Der Lipidfilm wird anschließend in soviel Puffer (10 mM Hepes, 150 mM NaCl pH 7,5) rehydratisiert, dass eine Lipidkonzentration von 25 mM erreicht wird. Die Suspension wird mindestens einmal eingefroren, bei 50°C wieder aufgetaut und dann mehrmals durch isopore Polykarbonatmembranen mit einer Porengröße von 200nm gedrückt.

Beschichtung mit PLL und Analyse der Strukturen

5 PLL (70- 150 kDa) wird in einer Konzentration von 1 mg/ml in Puffer (10 mM Hepes pH 7,5) gelöst.

Die unterschiedlichen liposomalen Formulierungen werden in Puffer (10 mM Hepes pH 7,5) auf eine Lipidkonzentration von 0,2 mM verdünnt. 0 bis 250 µg PLL/mg Lipid werden in höchstens 0,2 ml Volumen vorgelegt und unter Rütteln mit 10 1ml der liposomalen Formulierungen versetzt. Anschließend werden die entstandenen Strukturen mittels dynamischer Lichtstreuung vermessen (siehe Figur 2).

Die Größe der Liposomen nimmt durch Aggregatbildung mit dem Polymer schnell zu und überschreitet dann ein Maximum. 15 Erreicht die Größe mit steigenden Polymermengen wieder den ursprünglichen Wert, dann wird die optimal zur Beschichtung geeignete Menge verwendet.

20 Beispiel 7

Beschichtung mit PLL in Abhängigkeit von der Salzkonzentration

Herstellung der Liposomen

25 Wie in Beispiel 6, ergänzend werden auch Liposomen mit 0...40% CHEMS und ergänzenden Mengen DPPC hergestellt.

Beschichtung mit PLL und Analyse der entstandenen
30 Strukturen

PLL wird in geeigneten Konzentrationen (0-230 $\mu\text{g/ml}$) in Puffer (10 mM Hepes pH 7,5) gelöst. Die liposomalen Formulierungen werden in Puffer (10 mM Hepes pH 7,5) auf eine Lipidkonzentration von 0,2 mM verdünnt. Natriumchlorid-Lösungen von 0 bis 5 M werden in Puffer (10 mM Hepes, pH 7,5) hergestellt. In 96-well-Mikrotiterplatten wird eine Polymer-Salz-Matrix mit je 30 μl der verschiedenen PLL- bzw. NaCl-Lösungen aufgebaut. Die Kavitäten einer Platte werden mit jeweils 240 μl einer liposomalen Formulierung versetzt und die Trübung bei 405 nm nach 10 Minuten gemessen.

Die folgende Tabelle bezeichnet die geeignete Polymermenge ($\mu\text{g PLL/mg Lipid}$), die zur Generierung stabiler, nicht aggregierter Strukturen benötigt wird.

Liposomaler							
Ladungsträge Salzkonzentration							
r	10mM	25mM	50mM	75mM	100mM	150mM	300mM
10 % DPPG	25	100	Aggr.	Aggr.	Aggr.	Aggr.	Aggr.
33 % DPPG	60	100	130	130	150	250	Aggr.
66 % DPPG	130	150	150	150	150	170	Aggr.
100 % DPPG	220	230	230	230	250	270	>300
10 % CHEMS	25	Aggr.	Aggr.	Aggr.	Aggr.	Aggr.	Aggr.
20 % CHEMS	25	70	Aggr.	Aggr.	Aggr.	Aggr.	Aggr.
30 % CHEMS	60	70	100	250	Aggr.	Aggr.	Aggr.

40 % CHEMS	70	110	115	140	240	Aggr.	Aggr.
------------	----	-----	-----	-----	-----	-------	-------

Salzstabilität der PLL-beschichteten Liposomen

5 Liposomen, welche bei einer bestimmten Salzkonzentration mit einer geeigneten PLL-Menge beschichtet werden, so dass stabile Strukturen erhalten werden, sind bei Erhöhung der Salzkonzentration instabil und bilden Aggregate.

10

Beispiel 8

Nanokapseln aus Albumin und Heparin

Herstellung der Liposomen

15

20 mol-% DPPC und 80 mol-% DPPG werden in Isopropanol gelöst und unter Vakuum bis zur Trockene eingedampft. Der Lipidfilm wird anschließend in soviel Puffer (10 mM Hepes, 150 mM NaCl pH 7,5) rehydratisiert, dass eine Lipidkonzentration von 25 mM erreicht wird. Die Suspension wird mindestens einmal eingefroren, bei 50°C wieder aufgetaut und dann mehrmals durch isopore Polykarbonatmembranen mit einer Porengröße von 200 nm gedrückt.

25

Beschichtung mit Albumin und Heparin und Analyse der Strukturen

Die Polymere werden in den Konzentrationen von 1 mg/ml und 5 mg/ml in Puffer (10 mM Natriumacetat, pH 4) gelöst. Die Liposomen werden in Puffer (10 mM Natriumacetat, pH 4) auf eine Lipidkonzentration von 0,2 mM verdünnt. Zu 50 ml dieser verdünnten Liposomen werden nacheinander geeignete Mengen der beiden Polymere (siehe Tabelle) zugemischt. Die jeweils eingesetzte Menge Polymer bindet hinreichend vollständig an die Partikeloberfläche, so dass keine Reinigungsschritte zwischengeschaltet werden müssen.

Schicht (S)	mg Polymer/mg Lipid
S1 BSA	1,00
S2 Heparin	0,33
S3 BSA	4,75
S4 Heparin	1,59
S5 BSA	12,66
S6 Heparin	4,22

Vernetzung der entstandenen Strukturen mit Glutaraldehyd und Aufkonzentrierung

Die erhaltenen Strukturen werden zur Vernetzung mit Glutaraldehyd versetzt. Die Reaktion erfolgt über 2h bei 37°C und einer Endkonzentration von 0,15% Glutaraldehyd. Dann wird mittels 1 M NaOH die Lösung auf pH 7,5 eingestellt. Anschließend wird die Suspension mittels

Tangentialdialyse gegen 100mM NaCl dialysiert und dann konzentriert.

Salzstabilität der vernetzten Strukturen

5 Die Stabilität der erhaltenen Strukturen wird durch Zugabe von NaCl geprüft. Die Partikel sind mindestens gegenüber 150 mM NaCl beständig.

10 Beispiel 9

Nanokapseln aus PLL und PAS

Herstellung der Liposomen

15 60 mol-% DOPE und 40 mol-% CHEMS werden in Isopropanol/Chloroform (3/1) gelöst und unter Vakuum bis zur Trockene eingedampft. Der Lipidfilm wird anschließend in soviel Puffer (10 mM Hepes, 150 mM NaCl pH 7,5) rehydratisiert, dass eine Lipidkonzentration von 25 mM
20 erreicht wird. Die Suspension wird mindestens einmal eingefroren, bei RT wieder aufgetaut und dann mehrmals durch isopore Polykarbonatmembranen mit einer Porengröße von 200 nm gedrückt.

25 Beschichtung mit PLL und PAS und Analyse der Strukturen

PLL (Mr 70...150 kDa) und PAS (Mr 30 kDa) werden in den Konzentrationen 1mg/ml und 5mg/ml in Puffer (10 mM Hepes, 100 mM NaCl, pH 7,5) gelöst. Die Liposomen werden in Puffer
30 (10 mM Hepes, 100 mM NaCl, pH 7,5) auf eine

Lipidkonzentration von 0,2mM verdünnt. Für die Herstellung der ersten Schicht werden 130 μg PLL/mg Lipid in höchstens 1ml Volumen vorgelegt und 50ml der Liposomen zugespritzt. Für die Herstellung der zweiten Schicht werden 55 μg PAS/mg Lipid vorgelegt und die mit PLL beschichteten Liposomen zugespritzt. Mit den folgenden Schichten wird analog verfahren (siehe Tabelle). Die jeweils eingesetzte Menge Polymer bindet hinreichend vollständig an die Partikeloberfläche, so dass keine Reinigungsschritte zwischengeschaltet werden müssen.

Schicht (S)	μg Lipid	Polymer/mg
S1 PLL	130	
S2 PAS	55	
S3 PLL	200	
S4 PAS	200	
S5 PLL	850	
S6 PAS	800	

Vernetzung der entstandenen Strukturen mit EDC und Aufkonzentrierung

Die entstandenen Strukturen werden zur Vernetzung mit EDC versetzt. Die Reaktion erfolgt über 12h bei RT und einer Endkonzentration von 50 mM EDC. Dann wird die Vernetzungsreaktion mit Kaliumacetat (Endkonzentration 100

mM) gestoppt. Anschließend wird die Suspension mittels Tangentialdialyse dialysiert und dann konzentriert.

Salzstabilität der entstandenen Strukturen

5 Die Stabilität der erhaltenen Strukturen wird durch Zugabe von NaCl geprüft. Die Partikel sind mindestens gegenüber 150 mM NaCl beständig.

10 Beispiel 10

Verträglichkeit der Strukturen bei pharmazeutischen Anwendungen

15 Liposomen mit chemisch vernetzten Polyelektrolythüllen werden wie in Beispiel 8 oder 9 hergestellt.

Wistar-Ratten (männlich, 250...300g) werden mit regelmäßigem Tag-Nacht-Rhythmus und bei Futter ad libitum gehalten. Je zwei Tiere werden narkotisiert und erhalten 20 500 µl der Partikelsuspensionen über die Schwanzvene. Die Tiere werden über verschieden lange Zeiten beobachtet und anschließend dekapitiert und sezziert.

Zur Injektion wurden im einzelnen verwendet: Beispiel 8, S4 und S5 sowie Beispiel 9, S6.

25

Alle behandelten Tiere überlebten die Injektion für mindestens 24 Stunden. Bei keinem der Tiere wurde ein abweichendes Verhalten vom Normalfall festgestellt. Ebenfalls konnten keine krankhaften Veränderungen der 30 Organe festgestellt werden.

Beispiel 11**Beschichtung einer Emulsion**

5 2g Olivenöl, 8,5g Wasser, 120mg Phosphatidylcholin und
250mg Glycerol werden gemischt und für zwei Stunden
gerührt. Anschließend wird die Emulsion im Ultraschallbad
homogenisiert und einmal durch einen Polycarbonatfilter mit
einer Porenweite von 200nm extrudiert. Es entsteht eine
10 Emulsion mit einer durchschnittlichen Partikelgröße von 315
nm.

PLL (70-150 kDa) wird in einer Konzentration von 1mg/ml in
Puffer (10mM Hepes pH 7,5) gelöst.

15

40 µl der Emulsion werden in 10ml Puffer (10mM Hepes pH
7,5) verdünnt. 0 bis 50 µg PLL werden vorgelegt und unter
Rütteln mit 1ml der Emulsion versetzt. Anschließend werden
die entstandenen Strukturen mittels dynamischer
20 Lichtstreuung vermessen. Die Größe der Partikel nimmt durch
Aggregatbildung mit dem Polymer schnell zu und
überschreitet dann ein Maximum. Erreicht die Größe mit
steigenden Polymermengen wieder den ursprünglichen Wert,
dann wird die optimal zur Beschichtung geeignete Menge
25 verwendet. Geeignete Menge weiterer Polyelektrolyte für den
folgenden Schichtaufbau werden ebenfalls mit dieser Methode
bestimmt.

Nachfolgend soll die erfindungsgemäße Vorrichtung anhand
30 der Zeichnung in einem Ausführungsbeispiel näher erläutert

werden. In der Zeichnung ist der prinzipielle Aufbau der Vorrichtung in einem Blockschaltbild dargestellt.

Die Hauptflussstrecke der zu beschichtenden Nano- oder
5 Templatpartikel wird von einer den Hauptfluss bewirkenden
Pumpe 10, einem dieser Pumpe nachgeschalteten
Dämpfungsglied 20 und den Mischern 30, 31, 32, 33, 34, 3X
gebildet, wobei zwischen diesen Mischern jeweils ein
Zeitglied 41, 42, 43, 44, 45, 4X angeordnet ist.

10 Die Zuflussstrecken für das Zuführen der einzelnen
Polyelektrolyten A, B, C, D, E, X werden jeweils von einer
Pumpe 11, 12, 13, 14, 15, 1X sowie jeweils einem zwischen
der Pumpe und den Mischern 30 bzw. 31 bzw. 32 bzw. 33 bzw.
15 34 bzw. 3X angeordneten Dämpfungsglied 21 bzw. 22 bzw. 23
bzw. 24 bzw. 25 bzw. 2X gebildet.

Die einzelnen Baugruppen (Pumpen, Dämpfungsglieder, Mischer
und Zeitglieder) sind in ihrer Anordnung mittels
20 Schlauchleitungen verbunden. Das Volumen der jeweiligen
Schlauchleitung zwischen dem Mischer 30 und 31 bzw. 31 und
32 bzw. 32 und 33 bzw. 33 und 34 bzw. 34 und 3X bildet das
Zeitglied 41 bzw. 42 bzw. 43 bzw. 44 bzw. 45 bzw. 4X. Die
Vorrichtung ist durch das Aneinanderreihen weiterer
25 Zuflussstrecken (in der Zeichnung mit unterbrochenen Linien
dargestellt) beliebig erweiterbar.

Für die Beschichtung von Liposomen mit mehreren
Polyelektrolythüllen wird die Liposomenlösung mit einer
30 Pumpe in einem konstanten Fluss durch die Vorrichtung

geführt. Die zur Beschichtung benutzten Polyelektrolyte werden nacheinander in das System der Hauptflussstrecke eingeführt. Die Mischung der Reaktanden erfolgt mittels der Mischer 30, 31, 32, 33, 34, 3X an den Zuführungspunkten.

5 Das Volumen der Schlauchleitungen zwischen den einzelnen Mixchern 30 bis 3X ist dabei so bemessen, dass bei der gegebenen Fließgeschwindigkeit eine hinreichend lange Reaktionszeit bis zur Erreichung des nächsten Mixchers zur Verfügung steht.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von Nano- oder
5 Mikrokapseln mit einem Durchmesser von 20 nm bis 40 μm ,
dadurch gekennzeichnet, dass
- Templatpartikel in einem wässrigen Medium
vorgelegt,
 - 10 - mit einem Polyelektrolyten elektrisch umgeladen
werden,
 - ohne Trenn- oder Waschschrirte mit einem
komplementär zum ersten Polyelektrolyten
geladenen zweiten Polyelektrolyten wieder
15 umgeladen werden,
 - und dieser Prozeß mit alternierend geladenen
Polyelektrolyten gegebenenfalls weiter
fortgesetzt wird.
- 20 2. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass
ein Reaktionszyklus in weniger als 20 Minuten,
bevorzugt in weniger als 5 Minuten, besonders
bevorzugt in weniger als einer Minute durchlaufen
25 wird.
3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet, dass

bei einer Beschichtungsreaktion oder nach deren Abschluß ein chemischer Vernetzer zugesetzt wird.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
5 die Templatpartikel eine Größe zwischen 20 nm und 1000 nm, bevorzugt zwischen 50 nm und 500 nm und besonders bevorzugt zwischen 70 nm und 300 nm besitzen.

- 10 5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
in einer Schicht zwei oder mehr voneinander verschiedene Polyelektrolyte gleichzeitig oder
15 nacheinander aufgebracht werden.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
eine Salzkonzentration von mehr als 50 mM in einer
20 wässrigen Lösung verwendet wird.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet,
25 die Templatpartikel Liposomen sind.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet,
30 die Liposomen nach der Beschichtung aufgelöst werden, vorzugsweise mit einem Detergens.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass in die Liposomen Wirkstoffe eingeschlossen sind.

5 10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zur Herstellung der Liposomen Phosphatidylserin, Phosphatidylglycerol, Phosphatidylinositol, Phosphatidsäure, Sphingolipide, Ceramide, 10 Tetraetherlipide, Cholesterolsulfat, Cholesterolhemisuccinat, Dimethylaminoethylcarbamoylester-Cholesterol, Alkylcarbonsäure, Alkylsulfonsäuren, Alkylamine, Alkylammoniumsalze, Dialkylamine, N-[1-(2,3 Dioleoy(oxy)propyl)]-N,N,N-trimethylammoniumchlorid, 15 N-[1-(2,3 Dioleoy(oxy)propyl)]-N,N,N-trimethylammoniumchlorid, Phosphorsäureester mit langkettigen Alkoholen, Phosphatidylcholin, Phosphatidylethanolamin und/oder α -Tocopherol 20 eingesetzt werden.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass 25 die Beschichtung mit den Polymeren bei einer Lipidkonzentration kleiner 2 mM bevorzugt kleiner 1 μ M, besonders bevorzugt kleiner 0,5 mM und ganz besonders bevorzugt kleiner 0,2 mM durchgeführt wird.

12. Verfahren nach einem vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
Liposomen mit 10 bis 50 Mol%, bevorzugt 30 bis 50
Mol% und besonders bevorzugt 35 und 45 Mol%
5 geladenen Sterolen verwendet werden.
13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
10 mehr als 10 Mol%, bevorzugt mehr als 40 Mol% und
besonders bevorzugt mehr als 60 Mol% Phospholipide
verwendet werden.
14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
15 die Lipidmembran oberhalb ihrer jeweiligen
Phasenübergangstemperatur vorliegt.
15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
20 die Templatpartikel als eine Öl-in-Wasser-Emulsion
vorliegen.
16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, daß
25 die Emulsionen in ihrer Ölphase Wirkstoffe
enthalten.
17. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
30

dass als Polyelektrolyte natürliche, synthetische Polymere, Co- oder Blockpolymere aus mindestens zwei verschiedenen Monomeren, und/oder Mischformen dieser Verbindungen verwendet werden.

5

18. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, als Polyelektrolyte Polysaccharide, natürliche oder synthetische Proteine, Peptide, Homo- oder Heteropolymere aus Aminosäuren, Copolymere, Blockpolymere und/oder die den synthetischen Polymeren zugrundeliegenden Monomere verwendet werden.

10

15

19. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass als Polyelektrolyte Alginsäure, Chitosan, Pektin, Hyaluronsäure, Polymannuronsäure, Polygalacturonsäure, Heparin, Gummi Arabicum, Karajagummi, Xanthangummi, Karragenan, Locus Bean Gum und die Salze dieser Verbindungen sowie carboxylierte, aminierte, hydrazylierte Dextrane, Stärken, Levane, Inuline, Agarosen, Polyacrylsäuren, Polyacrylamide, Polyacrylsäureester, und andere Polymere aus Derivaten der Acrylsäure, Polyvinylpyrrolidone, Polyethylenamine, Polystyrensulfonsäuren, Polyallylamine und/oder Polyphosphazene verwendet werden.

20

25

30

20. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß
als Polyelektrolyte Albumin, Hämoglobin, Myoglobin, Antikörper, Enzyme, Protease, Peptidase,
5 Oxidoreductase, Lipase, Esterase, Mutase, Isomerase, Phospolipase, Aminotransferase, Acylase, Lyase, Hydrolase, α 2-Makroglobulin, Fibrinogen, Fibronectin, Collagen, Vitronectin, Protein A, Protein G, Avidin, Streptavidin, Concanavalin A
10 und/der Wheat Germ Agglutinin verwendet werden.
21. Strukturen in Form von Nanokapseln, hergestellt nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 20.
- 15 22. Strukturen nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, dass im Inneren der Struktur eine oder mehrere Lipidschichten sind.
- 20 23. Strukturen nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, dass im Inneren der Struktur eine nicht Wasser-mischbare Ölphase ist.
- 25 24. Strukturen nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass im Inneren der Struktur Wirkstoffe sind.
- 25 25. Strukturen nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass

die Wirkstoffe Bestandteil einer Hüllschicht sind.

26. Strukturen nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
- 5 die Wirkstoffe Katalysatoren, Biokatalysatoren, Pharmaka, Proteine, Oligonucleotide, Nucleinsäuren, Kristalle und/oder Sensormoleküle sind.

27. Verwendung der Strukturen nach einem der Ansprüche
- 10 21 bis 26 als Container oder Transporter bei pharmazeutischen Zubereitungen.

28. Verwendung der Strukturen nach einem der Ansprüche
- 15 21 bis 26 zur biochemischen Diagnostik.

29. Verwendung der Strukturen nach einem der Ansprüche
- 21 bis 26 zur Herstellung von Mikrokristallen, Herbiziden, Pestiziden und/oder Pigmenten.

- 20 30. Vorrichtung zur kontinuierlichen Beschichtung von Liposomen mit mehreren Polyelektrolytschichten, dadurch gekennzeichnet, dass
- in dem von einer Pumpe (10) bewirkten Hauptfluss der Liposomen nach einem Dämpfungsglied (20) für
- 25 jeden getrennt zugeführten , von einer Pumpe (11 bis 1X) bewirkten Zufluss des aufzubringenden Polyelektrolyts (A-X), ein Mischer (30-3X) vorgesehen ist, wobei zwischen den Mischern (30-3X) jeweils ein Zeitglied (41-4X) angeordnet ist und
- 30 zwischen den Pumpen (11-1X) für das Einbringen der

Polyelektrolyte (A-X) und den Mischern (30-3X) jeweils ein Dämpfungsglied (21-2X) angeordnet ist.

- 5 31. Vorrichtung nach Anspruch 30,
dadurch gekennzeichnet, dass
die in der Hauptflussstrecke angeordneten Mischer
(3-3X) mittels einer Schlauchleitung verbunden sind
und das Volumen der jeweiligen Schlauchleitung
10 zwischen dem Mischer(30 und 31; bzw. 31 und 32;
bzw. 32 und 33; bzw. 33 und 34;bzw. 34 und 3X) das
Zeitglied (41 bzw. 42 bzw. 43 bzw. 44 bzw. 45 bzw.
4X) bildet.

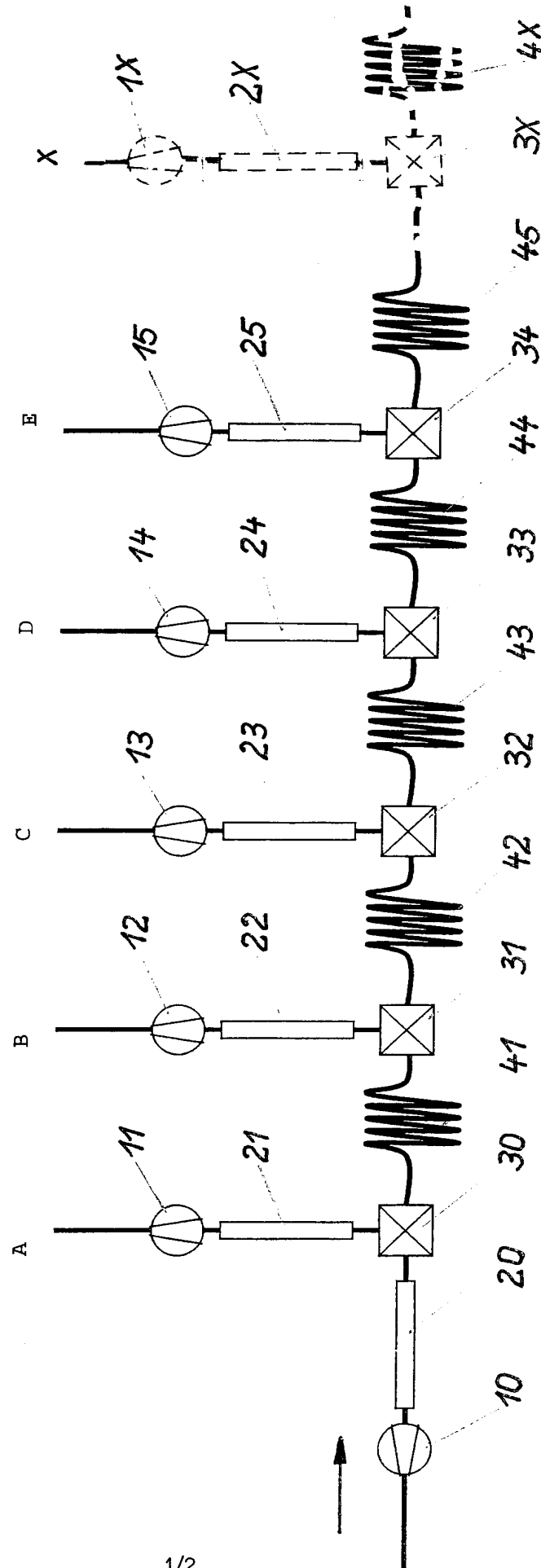
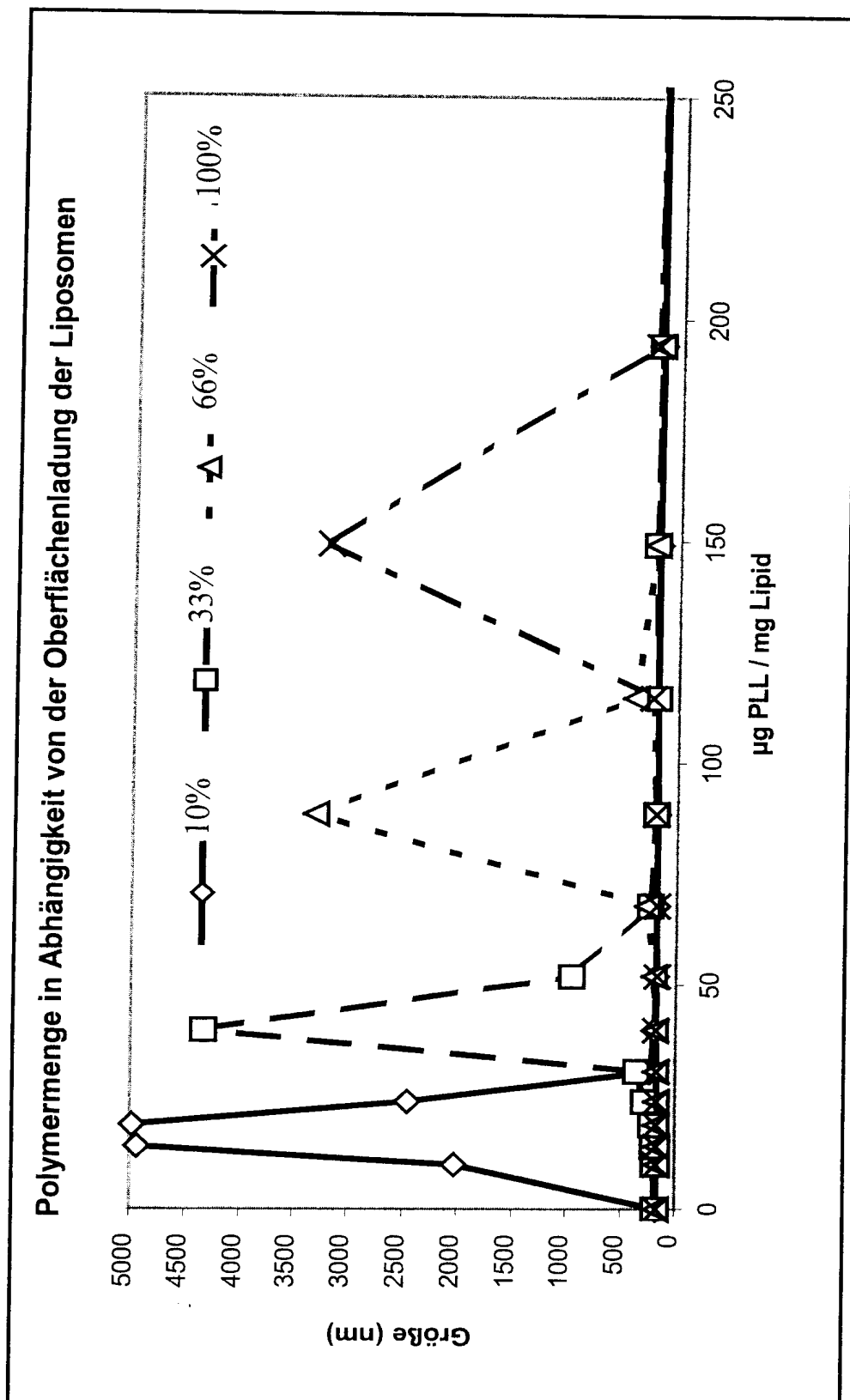


Fig. 1



FIGUR 2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

national Application No
PCT/EP 01/02397

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 B01J13/02 B01J13/22

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 B01J

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 99 47252 A (LERCHE KARL HEINZ ;MAX PLANCK GESELLSCHAFT (DE); BAEUMLER HANS (DE) 23 September 1999 (1999-09-23) the whole document -----	1-31



Further documents are listed in the continuation of box C.



Patent family members are listed in annex.

° Special categories of cited documents :

A document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

E earlier document but published on or after the international filing date

L document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

O document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

P document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

T later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

X document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

Y document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

* & * document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

17 July 2001

Date of mailing of the international search report

24/07/2001

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Willsher, C

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

national Application No

PCT/EP 01/02397

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 9947252 A	23-09-1999	DE 19812083 A	30-09-1999
		DE 19907552 A	31-08-2000
		EP 0972563 A	19-01-2000
		WO 9947253 A	23-09-1999
		EP 1064087 A	03-01-2001
		EP 1064088 A	03-01-2001
		WO 0003797 A	27-01-2000
		EP 1098696 A	16-05-2001

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

nationales Aktenzeichen

PCT/EP 01/02397

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 7 B01J13/02 B01J13/22

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 B01J

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	WO 99 47252 A (LERCHE KARL HEINZ ;MAX PLANCK GESELLSCHAFT (DE); BAEUMLER HANS (DE) 23. September 1999 (1999-09-23) das ganze Dokument -----	1-31

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

° Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann nahelegend ist

& Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

17. Juli 2001

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

24/07/2001

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Willsher, C

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

nationales Aktenzeichen

PCT/EP 01/02397

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 9947252 A	23-09-1999	DE 19812083 A	30-09-1999
		DE 19907552 A	31-08-2000
		EP 0972563 A	19-01-2000
		WO 9947253 A	23-09-1999
		EP 1064087 A	03-01-2001
		EP 1064088 A	03-01-2001
		WO 0003797 A	27-01-2000
		EP 1098696 A	16-05-2001
